

## Perlakuan panas baja aisi 4340 untuk membentuk *dual phase bainit ferrit* dengan menggunakan metode *step heat treatment*

Rafid Naufal <sup>1</sup>, Dr. Benny Bandanadjaja, ST., MT.<sup>2</sup>, Ery Hidayat, ST., MT.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknologi Rekayasa Manufaktur Konsentrasi Teknologi Foundry.

Hp. 081394655009

<sup>2</sup>Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Bandung, Jalan Kanayakan No.21,Kota Bandung, 40135

\*E-mail: [nrafiid@gmail.com](mailto:nrafiid@gmail.com)

---

### INFO ARTIKEL

### ABSTRAK

---

#### Article History:

*Received*

*Accepted*

*Available online*

---

#### Kata Kunci:

***two step austempering, AHSS, AISI 4340, dual phase ferrite bainite, supercooling.***



AISI 4340 merupakan baja karbon menengah dengan paduan rendah yang memiliki kuat tarik dan kuat luluh tinggi. Kuat tarik yang tinggi mengakibatkan elongasi rendah, material ini dianggap tidak memiliki ketangguhan yang tinggi. Ketangguhan dihasilkan dengan campuran elongasi dan kekuatan, dimana kekuatan tinggi dan elongasi tinggi akan menghasilkan nilai ketangguhan yang tinggi juga. Mengembangkan material yang tangguh dilakukan dengan membentuk *Ferrite-Bainite Dual Phase* (FBDP). Mikrostruktur ferit bainit dapat dihasilkan melalui proses *heat treatment*. Penelitian ini bertujuan pengembangan material yang termasuk kedalam *Advance High Strength Steel* (AHSS) generasi ke-3. Sampel penelitian dilakukan proses perlakuan panas *normalizing*. Perlakuan panas selanjutnya austenisasi dilanjutkan dengan *intercritical annealing*, setelah *intercritical annealing* sampel dimasukan ke *salt bath* untuk *first austempering*, sampel langsung dipindahkan ke *salt bath* yang lain untuk *second austempering*. *Step austempering* mempengaruhi formasi struktur mikro ferit bainit. Sampel yang sudah mengalami proses perlakuan panas dilakukan proses permesinan untuk sampel uji tarik, uji dampak, uji keras, dan uji metalografi. Hasil pengujian sampel *first austempering* dengan waktu penahan 10 menit menunjukkan bainit 84% dan karbida 16%, nilai kekerasan 41.2 HRC, dengan *tensile strength* 1442.7 Mpa, *yield strength* 428.62 Mpa, elongasi 5.5%, dan *modulus of toughness* 51.46 N.mm/mm<sup>3</sup>, energi potensial 18.8 Joule, dan harga dampak 0.22 Joule/mm<sup>2</sup>.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan material produk sering dilakukan dengan beragam kepentingan diantaranya biaya, tuntutan kerja, dan efisiensi. *Link Track Bucket Wheel Excavator* (BWE) merupakan produk yang digunakan dalam tambang batu bara terbuka. *Link track* digunakan sebagai bantalan untuk pemegang roda rantai BWE. *Link track* mengalami beban impact, tekan, dan tarik. Beban tekan dan tarik terjadi ketika *sprocket* penggerak bersentuhan dengan *link track*, ketika *link track* bersentuhan dengan roda terjadi beban tegangan [1]. Pengembangan material *link track* dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari material dan metode yang tepat untuk mengatasi masalah ini.

Material baja paduan Cr, Ni, dan Mo dipilih untuk menggantikan material sebelumnya yaitu GXMn12. Material paduan Cr, Ni, dan Mo yang dipilih merupakan AISI 4340 dengan proses perlakuan panas menghasilkan *dual phase bainit ferrit* (DPBF). Material ini memiliki nilai impact dan elongasi yang baik. Material DPBF dikenal juga dengan nama *Advance High Strength Steel* (AHSS).

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terhadap struktur mikro yang mampu meningkatkan nilai kekuatan dan ketangguhan pada baja AISI 4340 yaitu *tempered martensite* [3], *Lower bainit* yang lebih ulet dari pada *tempered martensit* [4], dan *ferrit* yang lebih ulet dari pada *Lower bainit* [5]. Sehingga kombinasi struktur mikro terbaik yang memberikan nilai kekuatan dan ketangguhan adalah DPBF [5]. Pernyataan itu didukung oleh penelitian A. Ekrami dan Saedi bahwa struktur mikro DPBF memiliki nilai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan martensit ferrit [6].

Metode *two step austempering* telah diketahui untuk meningkatkan sifat mekanik dari material *Austempered Ductile Iron* (ADI). Telah diamati bahwa *two step austempering* menghasilkan mikrostruktur yang lebih halus jika dibandingkan dengan metode konvensional *single step austempering* pada ADI. Metode *two step austempering* memungkinkan untuk menghasilkan mikrostruktur yang lebih halus dalam baja bainitik karena proses artifisial *undercooling* berpengaruh terhadap solidifikasi dan transformasi fasa. Maka dari itu metode *two step austempering* diaplikasikan terhadap DPBF material AISI 4340.

Metode *two step austempering* akan menghasilkan artifisial *undercooling* atau *supercooling* memicu pertumbuhan butiran sehingga butiran yang dihasilkan menjadi lebih halus. Pengaruh dari butiran yang lebih halus meningkatkan kekuatannya. Pengikatan kekuatan dapat disebabkan oleh pengikatan kekuatan batas butir, hilangnya tegangan permukaan dan hilangnya *segregation* pada material sampel uji. Mikrostruktur akhir yang akan dihasilkan bainit & ferrit dengan butiran halus. Kombinasi mikrostruktur yang terbentuk dan besar butiran diharapkan menghasilkan *modulus of toughness* yang baik dan elongasi yang baik.

## II. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

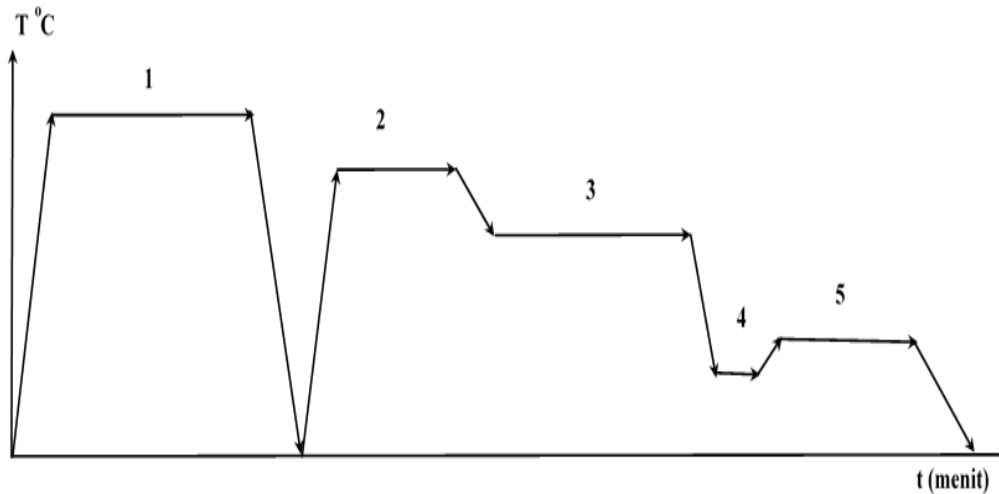
Langkah penelitian dilakukan dengan membuat baja cor paduan Cr-Ni-Mo dengan komposisi AISI 4340. Hasil pengecoran diuji dengan menggunakan OES (optical emission spectroscopy) dengan data pada tabel 1,

Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Baja AISI 4340.

Material	SAE	ACTUAL
C %	0.38 – 0.43	0.42
Si %	0.20 – 0.35	0.34
S %	0.03	0.01
P %	0.03	0.01
Mn %	0.6 – 0.8	1.1
Ni %	1.65 – 2.00	1.7
Cr%	0.7 – 0.9	0.7
Mo %	0.2 – 0.3	0.26

Proses *heat treatment* untuk menghasilkan *dual phase ferrite bainite* dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

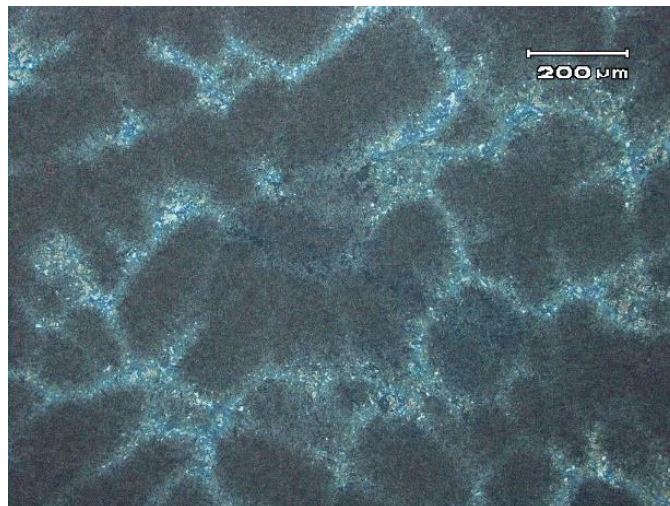
1. *Normalizing* dilakukan pada material *as-cast* untuk menghilangkan struktur *widmanstatten* dengan pemanasan temperature 900°C, waktu penahanan 120 menit dan pendinginan udara bebas.
2. *Austenizing* temperature 870°C dengan waktu penahanan 60 menit.
3. Dilanjutkan dengan proses *intercritical annealing* temperature 670°C dengan waktu penahan 90 menit. Penurunan temperatur 870°C ke 670°C dilakukan dalam kondisi tungku tertutup.
4. Diikuti dengan proses *first austempering* dengan *quenching* media bak garam temperatur 322°C variasi waktu penahanan 1 menit, 5 menit, dan 10 menit.
5. Dilanjutkan proses *second austempering*, sampel dipindahkan ke bak garam temperatur 350°C waktu penahanan 60 menit, dan pendinginan udara bebas.



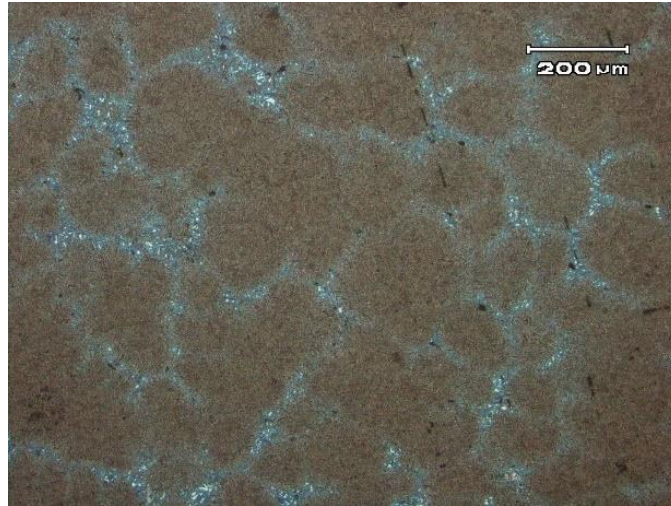
**Gambar 1** Diagram *Heat Treatment*.

### III. DATA DAN ANALISIS

Hasil analisis metallografi menunjukkan perbedaan pada setiap variasi *holding time*. Hal ini dapat dianalisis menggunakan TTT diagram AISI 4340, dimana semakin lama *holding time first austempering* semakin banyak jumlah bainit yang terbentuk. Identifikasi volume fraksi dari setiap mikrostruktur menggunakan aplikasi ImageJ. Sampel metallografi di etsa menggunakan nital 4% selama 5 detik.



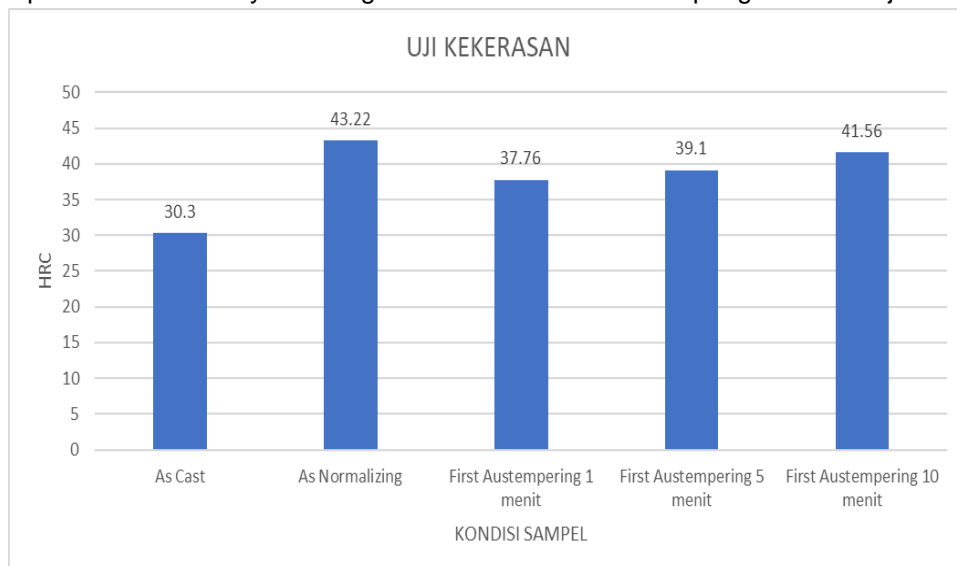
**Gambar 1** Struktur Mikro *First Austempering* 1 Menit.



**Gambar 2** Struktur Mikro First Austempering 10 Menit.

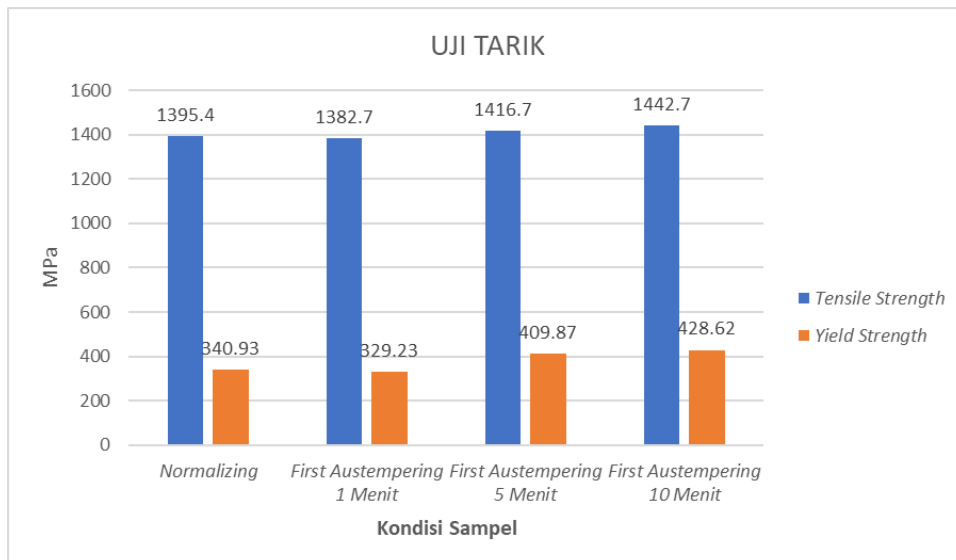
Mikro struktur yang terbentuk merupakan bainit dan karbida. Meningkatnya *holding time* meningkatkan jumlah bainit yang terbentuk, pada *first austempering* 1 menit fasa bainit yang terbentuk sebesar 70% dan karbida sebesar 30%, *first austempering* 5 menit fasa bainit yang terbentuk sebesar 71% dan karbida 29%, dan *first austempering* 10 menit fasa bainit yang terbentuk sebesar 84% dan karbida 16%. Fasa bainit teridentifikasi dengan nilai kekerasan 440 HV dan karbida dengan kekerasan 650 HV. Hal ini juga menyebabkan peningkatan nilai kekerasan, ketangguhan pada specimen impak dan tariknya. Semakin meningkatnya *holding time* jumlah karbida menurun sedangkan bainit meningkat.

Pengujian keras dilakukan sesuai dengan standar ASTM E 18 menggunakan *indentor Rockwell C* data hasil uji keras menunjukkan *as-cast* 30.3 HRC, *normalizing* 43.22, *holding time* 1 menit 37.76 HRC, *holding time* 5 menit 39.1 HRC, *holding time* 10 menit 41.56 HRC. Meningkatnya *holding time* meningkatkan kekerasan. Peningkatan nilai kekerasan tidak terlalu signifikan hanya berkisar 2 HRC pada setia variasinya. Peningkatan nilai kekerasan mempengaruhi nilai uji tarik.

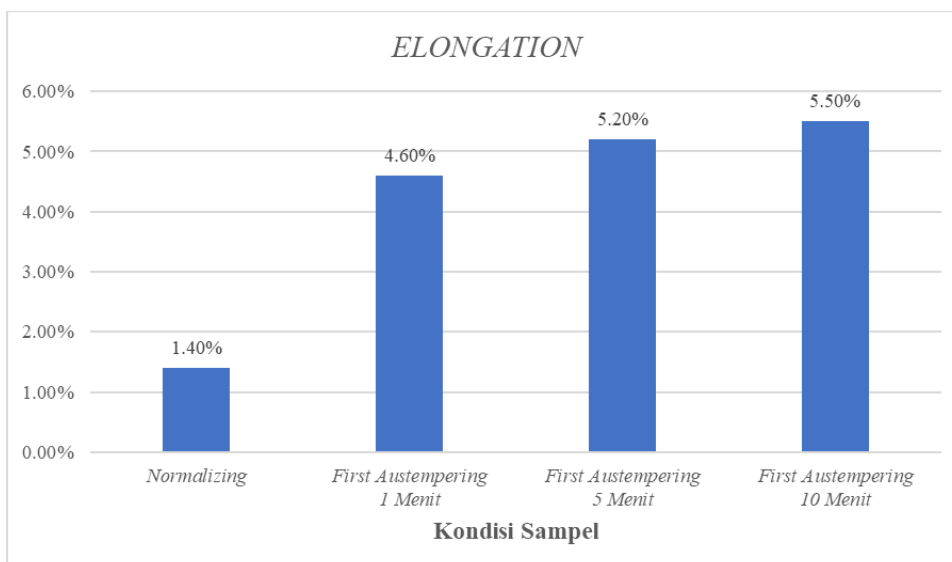


**Gambar 3** Grafik Batang Nilai Uji Keras.

Korelasi perubahan nilai kekerasan dengan nilai uji tarik dan mikrostruktur berikut ini. Seiring meningkatnya nilai kekerasan maka nilai *yield strength* dan *tensile strength* meningkat. Nilai *elongation* meningkat seiring penambahan *holding time*.



Gambar 4 Grafik Batang Nilai Uji Tarik.



Gambar 5 Grafik Batang Nilai Uji Tarik.

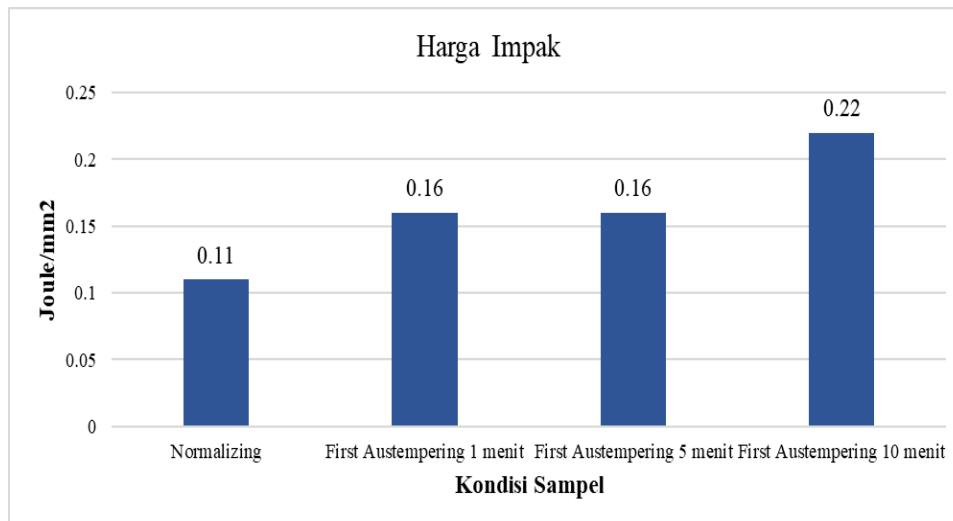
Peningkatan nilai uji tarik linier dengan peningkatan nilai elongasinya. Hal ini disebabkan semakin banyak *lower bainite* yang terbentuk berdasarkan diagram TTT AISI 4340. Peningkatan dari nilai elongasi, kuat tarik dan kuat luluh akan mempengaruhi nilai ketangguhan atau area dibawah kurva uji tarik. Material proses *heat treatment first austempering* 10 menit memiliki nilai kuat tarik 1442.7 MPa, kuat luluh 428.62 MPa dan elongasi 5.5 %. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan material dengan proses *normalizing* dengan nilai kuat tarik 1395.4 MPa, kuat luluh 140.93 MPa dan elongasi 1.4%. Meningkatnya nilai elongasi disebabkan oleh karbida yang lebih sedikit, karbida memiliki sifat getas sehingga nilai elongasi akan rendah. Hasil uji tarik dapat digunakan untuk mencari nilai ketangguhannya dengan rumus berikut.

$$U_T = \frac{\sigma_u + \sigma_y}{2} \times \varepsilon$$

Perhitungan ketangguhan baja dari hasil uji tarik mengacu pada persamaan bahwa ketangguhan merupakan integral atau luas area di bawah kurva uji tarik. Ketangguhan merupakan energi deformasi per unit volume sebelum terjadinya patah, dengan demikian satuannya adalah Joule/m<sup>3</sup>.

**Tabel 2** Hasil Perhitungan *Modulus of Toughness*.

Perlakuan Panas	<i>Modulus of Toughness</i> (Joule/m <sup>3</sup> )
Normalizing	12.15
First Austempering 1 menit	39.37
First Austempering 5 menit	47.49
First Austempering 10 menit	51.46



**Gambar 5** Grafik Harga Impak.

Hasil pengujian harga impact pada proses *first austempering* 1 menit dan *first austemper* 5 menit memiliki nilai yang sama, namun pada proses *first austempering* 10 menit harga impact meningkat.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang terkumpul dari hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian, yaitu:

1. Penahanan waktu *first austempering* mempengaruhi nilai kekerasan, *tensile strength*, *yield strength*, *elongation*, dan *modulus of toughness*. Penambahan waktu penahanan *first austempering* meningkatkan jumlah bainit dan menurunkan jumlah dari karbida yang terbentuk.
2. Hasil perlakuan panas *First Austempering* (322°C) 10 menit memiliki nilai ketangguhan: *modulus of toughness* 51.46 N.mm/mm<sup>3</sup>, energi potensial 18.8 Joule, dan harga impact 0.22 Joule/mm<sup>2</sup>.
3. Penambahan waktu penahan *first austempering* meningkatkan nilai kekerasan material yang tidak terlalu signifikan, peningkatan antar variasi penahanan *first austempering* 1 menit 37.7 HRC, variasi *first austempering* 5 menit 39.1 HRC, variasi *first austempering* 10 menit 41.5 HRC.

##### 5.2 Saran

1. Dalam melakukan proses perlakuan panas *intercritical annealing* temperatur perlu dikendalikan secara teliti.
2. Melakukan kontrol media *quench* bak garam perlu dilakukan dengan teori asas black agar temperatur kerja *austempering* cepat tercapai dikarenakan sudah mencapai temperatur kesetimbangannya.

3. Pengawasan temperatur *intercritical annealing* dilakukan dengan 2 alat, yaitu: indikator temperature yang berada di tungku pemanas dan menambahkan termometer data logger dengan *thermocouple type K*. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir selisih temperature pada tungku pemanas.
4. Pada teori *nucleation* selisih temperatur *supercooling* mempengaruhi *nucleation rate* sehingga penelitian berikutnya mengamati pengaruh perbedaan temperature antara *first austempering* dengan *second austempering*.

## REFERENSI

- [1] B. Bandanadjaja and M. Achyarsyah, "Perancangan Material Coran Baja Link Track Untuk Bucket Wheel Excavator Batubara (Material Design of Link Track Steel Casting for Coal Bucket Wheel Excavator)," *Creat. Res. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 47–63, 2015.
- [2] ASM International, "Properties and Selection : Irons , Steels , and High Performance Alloys, Vol 1, ASM Handbook," *ASM Int.*, vol. 1, p. 1618, 2005.
- [3] J. M. Tartaglia, K. A. Lazzari, G. P. Hui, and K. L. Hayrynen, "A comparison of mechanical properties and hydrogen embrittlement resistance of austempered vs quenched and tempered 4340 steel," *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 39 A, no. 3, pp. 559–576, 2008.
- [4] M. R. Akbarpour and A. Ekrami, "Effect of ferrite volume fraction on work hardening behavior of high bainite dual phase (DP) steels," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 477, no. 1–2, pp. 306–310, 2008.
- [5] N. Saeidi and A. Ekrami, "Impact properties of tempered bainite-ferrite dual phase steels," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 21–22, pp. 5575–5581, 2010.
- [6] N. Saeidi and A. Ekrami, "Comparison of mechanical properties of martensite/ferrite and bainite/ferrite dual phase 4340 steels," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 523, no. 1–2, pp. 125–129, 2009.
- [7] J. William D. Callister, *Materials Science and Engineering 7th Ed. : An Introduction*, vol. 26, no. 14. 2007.
- [8] G. E. Totten, *Steel Heat Treatment Handbook*. 2006.
- [9] ASM International, *Heat Treating, Vol 4, ASM Handbook*, vol. 4. 1991.
- [10] C. Bidmeshki, A. Shokuhfar, and V. Abouei, "Influence of the heat treatment path on the martensite phase and dry reciprocating wear behavior of dual-phase steels," *Metall. Res. Technol.*, vol. 113, no. 2, p. 203, 2016.
- [11] M. Maalekian, "Christian Doppler Laboratory for Early Stages of Precipitation The Effects of Alloying Elements on Steels (I)," *Eff. Alloy. Elem. Steels*, vol. 1, no. October, p. 36, 2007.
- [12] J. Yang and S. K. Putatunda, "Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process," *Mater. Des.*, vol. 25, no. 3, pp. 219–230, 2004.
- [13] D. A. Porter, A. Kenneth E. Easterling, and M. Y. Sherif, *Phase Transformations in Metals and Alloys THIRD EDITION*. 2009.
- [14] ASM International, *Metallography: An Introduction, Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook*, vol. 9. 2004.
- [15] B. Bandanadjaja, P. M. Bandung, D. Idamayanti, P. M. Bandung, and C. Ruskandi, "The Influence of Intercritical Annealing Holding Time on Mechanical Properties of AISI 4340 Steel," no. September, 2018.
- [16] ASTM, "ASTM A370-18 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products," *ASTM Stand.*, no. October, pp. 1–54, 2018.
- [17] ASTM, "ASTM E23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials," in *ASTM Standard*, no. May, 2003, pp. 1–29.
- [18] J. R. (Ed. ). Davis, *Tensile testing, Second edition*. 2004.
- [19] S. K. Putatunda, A. Deokar, and G. Bingi, "Mechanical Properties of a Medium Carbon Low Alloy Steel Processed by Two Step Austempering Process," *Mater. Sci. Forum*, vol. 638–642, pp. 3453–3458, 2010.
- [20] S. Talebi, H. Ghasemi-Nanesa, M. Jahazi, and H. Melkonyan, "In Situ Study of Phase Transformations during Non-Isothermal Tempering of Bainitic and Martensitic Microstructures," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 9, p. 346, 2017.